

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra automatizace a počítačové techniky v metalurgii

ZÁVĚREČNÁ PRÁCE BAKALÁŘSKÉHO STUDIA

Model řízení ohříváčů větru

2010

David Honka

Zadání bakalářské práce

Student: **David Honka**

Studijní program: B3922 Ekonomika a řízení průmyslových systém

Studijní obor: 3902R040 Automatizace a počítačová technika v průmyslu

Téma: Model řízení ohřevačů v truhlárně
Model of control of Hot-Blast Stove

Zásady pro vypracování:

1. Popis a analýza procesu řízení ohřevačů v truhlárně.
2. Návrh a realizace laboratorního modelu řízení ohřevačů v truhlárně.
3. Návrh úloh řízení a popis možností modelu.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. TOMIS, L., HANÁK, V., OCHOZKA, J. Automatizované systémy řízení technologických procesů v hutnictví. Ostrava: VŠB-TUO, 1984
2. BROŽ, L. a kol. Hutnictví železa. Praha: SNTL/ALFA, 1988
3. DUTKÁ, Z., OLEHLA, M., NOVÁK, V. Simulace systémů. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1987

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří David, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Robert Frischer

Datum zadání: 15.12.2008

Datum odevzdání: 15.05.2009

prof. Ing. Zora Janáková, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list + zásady pro vypracování BP | 5. Textová část BP |
| 2. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 6. Seznam použité literatury |
| 3. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 7. Přílohy |
| 4. Obsah BP | |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře. Za titulním listem následují tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“.

ad 2) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (student jej obdrží na své oborové katedře) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. *V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.*

ad 3) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 4) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 5)

Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 7).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U

vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 6) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 7) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

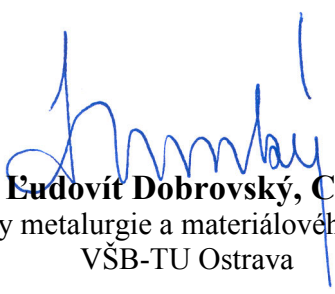
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON včetně abstraktu a klíčových slov v češtině a angličtině.

IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2009/2010.

Ostrava 30. 11. 2009


Prof. Ing. Eudovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě

.....

podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Davidovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a čas strávený při konzultacích. Dále bych rád poděkoval Ing. Robertu Frischerovi za četné připomínky a komentáře k mojí práci.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DAVID HONKA

Model řízení ohřivačů větru

Ostrava, VŠB-TU, 2010

Bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Jiří David, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá simulací a řízením ohřivačů větru používaných ve vysokopecních závodech, která je aplikovaná na vyrobeném pedagogickém modelu.

Cílem je tvorba pedagogického modelu, na kterém se provedou simulace. Dále naměření údajů při prováděných simulacích, jejich vyhodnocení a návrh řízení modelu.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

DAVID HONKA

Model of Hot-Blast Stoves Control

Ostrava, VŠB-TU, 2010

Bachelor Work, leading: doc. Ing. Jiří David, Ph.D.

Bachelor work deals with simulation and control hot-blast stoves uses in blast-furnace factory, which is applied to the manufactured model.

The aim is to manufacture pedagogic model on which simulation is performed. In addition, the measured data performed simulations, their evaluation and proposal management model.

Obsah

1	Úvod	6
2	Historie	7
3	Stavba ohříváčů	8
3.1	Konstrukční provedení ohříváčů větru	8
3.1.1	Cowperův ohříváč větru	8
3.1.2	Ohříváč větru s oddělenou spalovací šachticí	10
4	Řízení ohříváčů větru	13
4.1	Automatická reverzace	13
4.2	Regulace vytápění a ohřev větru	13
4.2.1	Běžný způsob	14
4.2.2	Paralelní způsob	15
4.2.3	Sdruženě – paralelní způsob	16
4.3	Optimalizace ohříváčů větru	17
5	Laboratorní model řízení ohříváčů větru	18
5.1	Pracovní postup	19
5.2	Provádění simulace a měření	23
5.2.1	Příprava a provádění simulace	23
5.2.2	Průběh měření	23
5.2.3	První simulace při zapnutém ohřevu	24
5.2.4	Druhá simulace při vypnutém ohřevu	26
6	Návrh řízení modelu	28
6.1	Manuální řízení	28
6.2	Řízení pomocí přístrojů	28
6.2.1	Použití přístrojů při řízení modelu	29
7	Model řízení ohříváčů větru	30
7.1	Možnosti modelu	35
8	Závěr	36
9	Použitá literatura	37

1 Úvod

Ohřívače větru jsou nedílnou součástí vysokopecního pochodu, který patří do skupiny nepřetržitých hutnických pochodů, což je souhrn dějů probíhajících ve vysoké peci.

Snaha o maximální ekonomii vysokopecního pochodu vede u nás i v zahraničí k rozsáhlému výzkumu, jak vysokopecního procesu, tak i pomocných provozů a zařízení vysokopecního závodu. I když hlavní úsilí výzkumu je zaměřeno na samotný vysokopecní proces, je třeba si rovněž důkladně všimnout tohoto pomocného zařízení, které je největším výměníkem tepla v hutích, nehledě na to, že moderní technologie vysokopecního procesu vyžaduje jiné parametry horkého větru, než bylo dlouho zvyklostí. Klasické provedení ohřívačů od E. A. Cowpera se prakticky od svého návrhu v roce 1857 změnilo jen co se týče rozměrů a již dále nemůže dobře plnit neustále se zvyšující nároky na vysokopecní proces bez potřebných konstrukčních úprav.

Vysoké teploty vzduchu foukaného do vysoké pece, jsou velmi důležitým faktorem, neboť podstatně snižují spotřebu koksu, usnadňují injekci pomocných paliv jako je práškové uhlí sloužící jako náhrada za drahý metalurgický koks. Toto může mít významný účinek, pokud jde o snížení cen surového železa.

V České republice je v současné době používáno 18 ohřívačů větru. Jedenáct jich dodává ohřátý vzduch do třech vysokých pecí v závodu ArcelorMittal Ostrava a.s.. Zbývajících sedm ohřívačů větru slouží ve firmě Třinecké Železářny a.s., kde dodávají ohřátý vzduch do dvou vysokých pecí.

Předložená bakalářská práce se zabývá problematikou ohřívačů větru. Týká se především návrhu zjednodušeného pedagogického modelu ohřívače a popisem jeho řízení.

Cílem je tvorba pedagogického modelu, na kterém se provedou simulace. Dále naměření údajů při prováděných simulacích, jejich vyhodnocení a návrh řízení modelu.

2 Historie

Ohříváče větru nebo-li cowpery jsou důležitým prvkem ve zvyšování účinnosti postupů zpracování železa. Jejich název je odvozen od jména jejich vynálezce E. A. Cowpera, který získal již v roce 1857 ve Velké Británii patent na regenerativní typ ohříváčů se žáruvzdornou teplojemnou výplní. [2]

V roce 1828 získal licenci k použití ohřátého vzduchu Angličan James Neilson. První pokusy s ohřevem větru pro vysoké pece v zařízeních rekuperačního typu se však uskutečnily v roce 1829. Ohřátý vzduch, i přes relativně nízkou teplotu (pouhých 150°C), výrazně zlepšoval procesy ve vysoké peci: zvyšování teploty železa a strusky, nižší spotřeba paliva. V roce 1831 byla teplota zvýšena na 300-400 °C, což umožnilo nahradit strusku uhlím. Vzduch byl ohříván v železných boxech nebo litinových trubkách, které procházely skrze rozžhavenou pec. V roce 1834 začal Faber du Faur využívat k ohřátí vzduchu v trubkách vysokopecního plynu. Ohříváč větru byl umístěn na vrcholu pece. Ale po problémech s napájením a instalací ohříváče větru se toto uspořádání nikdy více nerozšířilo. [8]

Původní ohříváče větru měly spalovací šachtici o kruhovém průřezu umístěnou v ose ohříváče a teprve na přelomu 19. a 20. století se šachtice posunula k obvodovému zdivu a dostala eliptický tvar. Tyto ohříváče s vnitřní spalovací šachticí jsou v současné době postupně nahrazovány ohříváči s oddělenou spalovací šachticí, které jsou výkonnější. [2]

3 Stavba ohřivačů

Ohřivače jsou pomocným zařízením, které je schopno ohřát dmýchaný proud vzduchu. Rostoucí teplota dmýchaného větru vede ke snížení potřeby uhlíku. Horký vzduch je zapotřebí k přenosu tepla do pevné vsázky, aby se zvýšila reakční teplota. Horký vítr také pomáhá při zajištění potřeby kyslíku pro zplynění koksu a při transportu plynu, který při styku se vsázkou redukuje oxidy železa. [6]

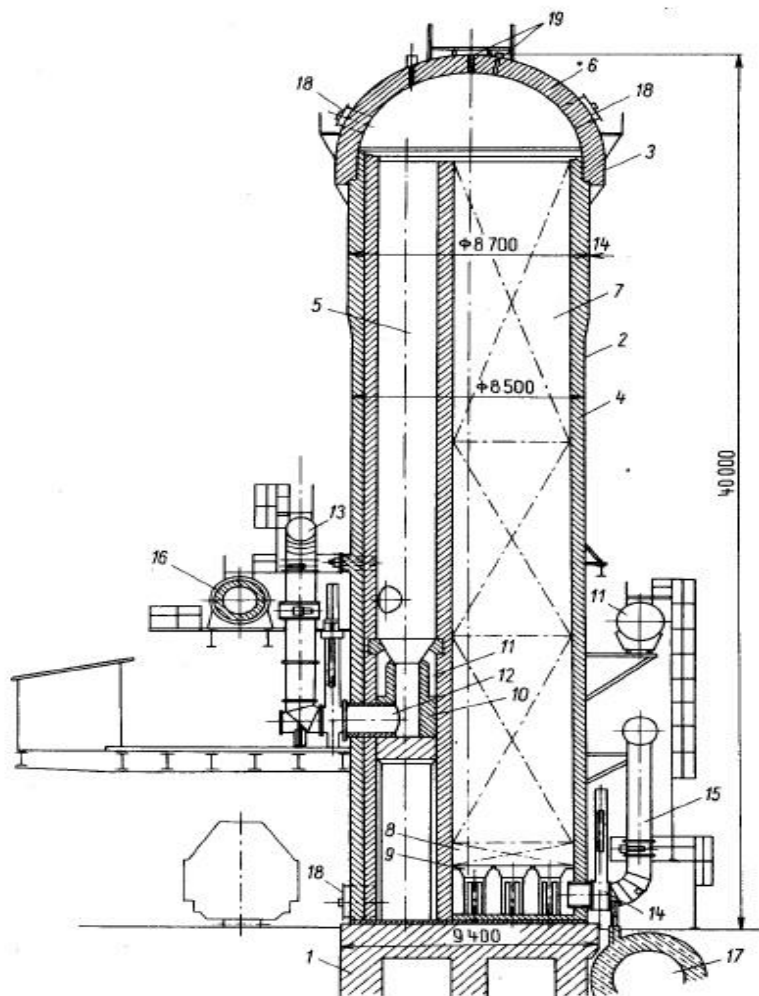
Obvyklé rozměry ohřivače jsou 9 m průměr a 36 m výška, ale stavějí se i ohřivače o průměru 11 m a výšce 55 m. K jedné vysoké peci patří 3 až 4 ohřivače, komín a mísicí komora horkého a studeného větru s automatickou regulací. Větší část vyzdívky ohřivače je šamotová s vysokým obsahem Al_2O_3 , pouze kopule a horní část teplojemné výplně bývají z dinasu, který snáší vyšší teploty než šamot (až 1600 °C). Teplojemná výplň vytváří průběžné vertikální kanálky, které se směrem nahoru rozšiřují. Nejčastěji se používá šestihranných bloků o tloušťce stěny 40 mm s vertikálními otvory o kruhovém řezu. [2]

3.1 Konstrukční provedení ohřivačů větru

V současnosti jsou uplatňovány v zásadě dva různé konstrukční varianty ohřivačů větru pro vysoké přehřátí větru.

3.1.1 Cowperův ohřivač větru

Především je to klasické provedení ohřivače s vestavěnou spalovací šachtou, intensivně pracujícím hořákem, spalujícím velké množství smíšeného plynu a tepelně namáhanou vyzdívkou z vysokohlinitého šamotu (okolo 55 % Al_2O_3). Moderní Cowperův ohřivač pro vysoké teploty s vnitřní spalovací šachticí je znázorněn na Obr. 1.



Obr. 1 Cowperův ohřívač větru s vnitřní spalovací šachticí

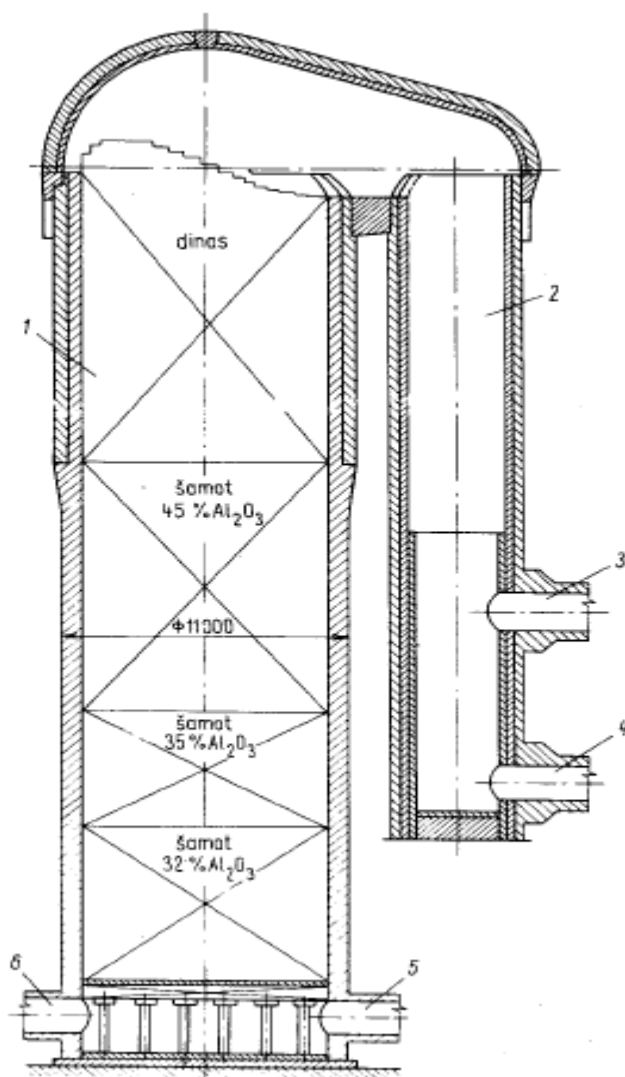
Moderní Cowperův ohřívač pro vysoké teploty s vnitřní spalovací šachticí je znázorněn na obr. 1.

Ohřívač (Obr. 1) se skládá z těchto základních částí: základové desky 1, ocelového pláště 2 válcového tvaru o tloušťce 25 až 30 mm zakončeného polokulovitou kopulí 3, obvodového zdiva 4, spalovací šachtice 5, vyzdívky kopule 6, teplojemné výplně 7 spočívající na keramickém roštu 8 s litinovými podpěrami 9. Ke každému ohřívači dále patří plynový hořák 10 s oddělovacím šoupátkem, regulačním plynovým ventilem a ventilátorem, vstupní kanálky pro spalovací vzduch 11, přívod plynu 12, plynové potrubí 13, studenovětrné šoupátko 14, horkovětrné šoupátko a kouřové ventily, studenovětrné potrubí 15, horkovětrné potrubí 16, kouřový kanál 17, každý ohřívač je opatřen uzavíratelnými průlezy 18, termočlánky 19.

3.1.2 Ohříváč větru s oddělenou spalovací šachticí

Dalším typem ohříváče větru je ohříváč se samostatnou spalovací šachtou. Snaha zvětšit účinný povrch teplojemné výplně a dosáhnout vysoké průměrné teploty větru (až 1400 °C) vedla ke konstrukci ohříváčů s oddělenou spalovací šachticí. Problém který se vyznačoval praskáním kopule při působení vysokých teplot byl vyřešen dvojitou stěnou kopule, přičemž vnitřní stěna kopule byla perforována. Studený vítr pronikající perforací vytvoří ochranný polštář a tím je prakticky vyloučeno narušení zdiva klenby vysokou teplotou spalin.

Klasické provedení ohříváče větru má při vysokém tepelném zatížení řadu nevýhod spojených především s procesem spalování velkého množství paliva o vyšší výhřevnosti. Z mnoha řešení, jež byla zkoumána, se jeví jako výhodné řešení se samostatnou spalovací šachtou a se spalovacím prostorem provedeným přímo v kopuli ohříváče (Obr. 2). U tohoto typu ohříváčů odpadají obtíže, které souvisí s rozdílnou tepelnou roztažností vyzdívky spalovací šachtice a odvodového i výplňového zdiva a dosahuje se u nich příznivějšího proudění spalin pod kopulí. Kromě toho lze použít vysoce výkonných keramických hořáků a hořáků s vertikálním uspořádáním. Jejich nedostatkem jsou vyšší tepelné ztráty.



Obr. 2 Ohříváč větru s oddělenou spalovací šachticí

Ohříváč větru s oddělenou spalovací šachticí je tvořen: teplojemnou výplní 1, spalovací šachticí 2, odvodem horkého větru 3, přívodem plynu a spalovacího vzduchu 4, odvodem spalin 5 a přívodem studeného větru 6.

Ohříváče se provozují cyklicky. Vyhřejí se hořícími plyny (běžně obohaceným vysokopecním plynem) až je v klenbové báni správná teplota (asi 1100 – 1500° C). Spalování plynu se potom přeruší a přes větrovody se v opačném směru protlačí studený okolní vzduch. Studený vzduch se ohřeje o horké cihly a tak se vytvoří proud horkého vzduchu (900-1350 °C), který se zavádí do vysoké pece. Proces pokračuje, až ohříváče nemohou dále dosáhnout charakteristické teploty dmýchaného proudu plynu a původní ohřívací cyklus začíná znova. Trvání každého cyklu závisí na individuálních místních

podmínkách, jakými může být např. zdroj energie, charakteristika systému a zavedená opatření. [6]

Přeřazování ohřivačů z vytápění na ohřev větru a naopak se děje automaticky nebo poloautomaticky s blokováním jednotlivých operací, aby byl přesně dodržen bezpečný postup. [4, 5]

4 Řízení ohřivačů větru

Úkolem řízení baterie ohřivačů větru je zajistit trvalý ohřev větru v požadovaném množství a teplotě.

Na rozdíl od většiny ostatních výměníků nevyužívá citelného tepla spalin odcházejících z pece, nýbrž je výměníkem vytápěným. Palivem je vyčištěný vysokopecní plyn, mísený s koksárenským, resp. zemním plynem.

Studený vítr je pro potřeby vysoké pece ohříván v baterii ohřivačů větru. Všem těmto bateriím z hlediska budování automatizovaných systémů řízení technologických procesů (ASŘTP) je společný rekuperační ohřev větru, při kterém je v jednom nebo maximálně ve dvou ohřivačích studený vítr ohříván a zbývající jsou vytápěny. Cílem ASŘTP je sladit vzájemné požadavky na ohřev větru s možnostmi daného typu ohřivače tak, aby byla zajištěna max. teplota dmýchaného větru s využitím paliv, která jsou pro vysokopecní závod k dispozici.

Řízení ohřivačů je zajišťováno dvěma navzájem skloubenými částmi. A to zařízením pro automatickou reverzaci baterie a ohřivačů a zařízením pro regulaci vytápění a ohřev větru.

4.1 Automatická reverzace

Zajišťuje podle předem určeného logického postupu ve vhodné okamžiky přerazování z polohy odstaveno na vytápění nebo ohřev větru a naopak v případě, že v průběhu reverzačního cyklu dojde k poruše, provádí se automaticky nezbytný bezpečnostní zásah. Základní zásadou řízení je splnění podmínky pro trvalý ohřev větru bez přerušení, které by mohlo nastat při reverzaci.

4.2 Regulace vytápění a ohřev větru

Navazují na zařízení programové reverzace. Regulační systém vytápění umožňuje podle požadavku provozu respektive podle následujícího podsystému optimalizace vytápění nastavení potřebného tepelného příkonu, změnou množství topného plynu a jeho

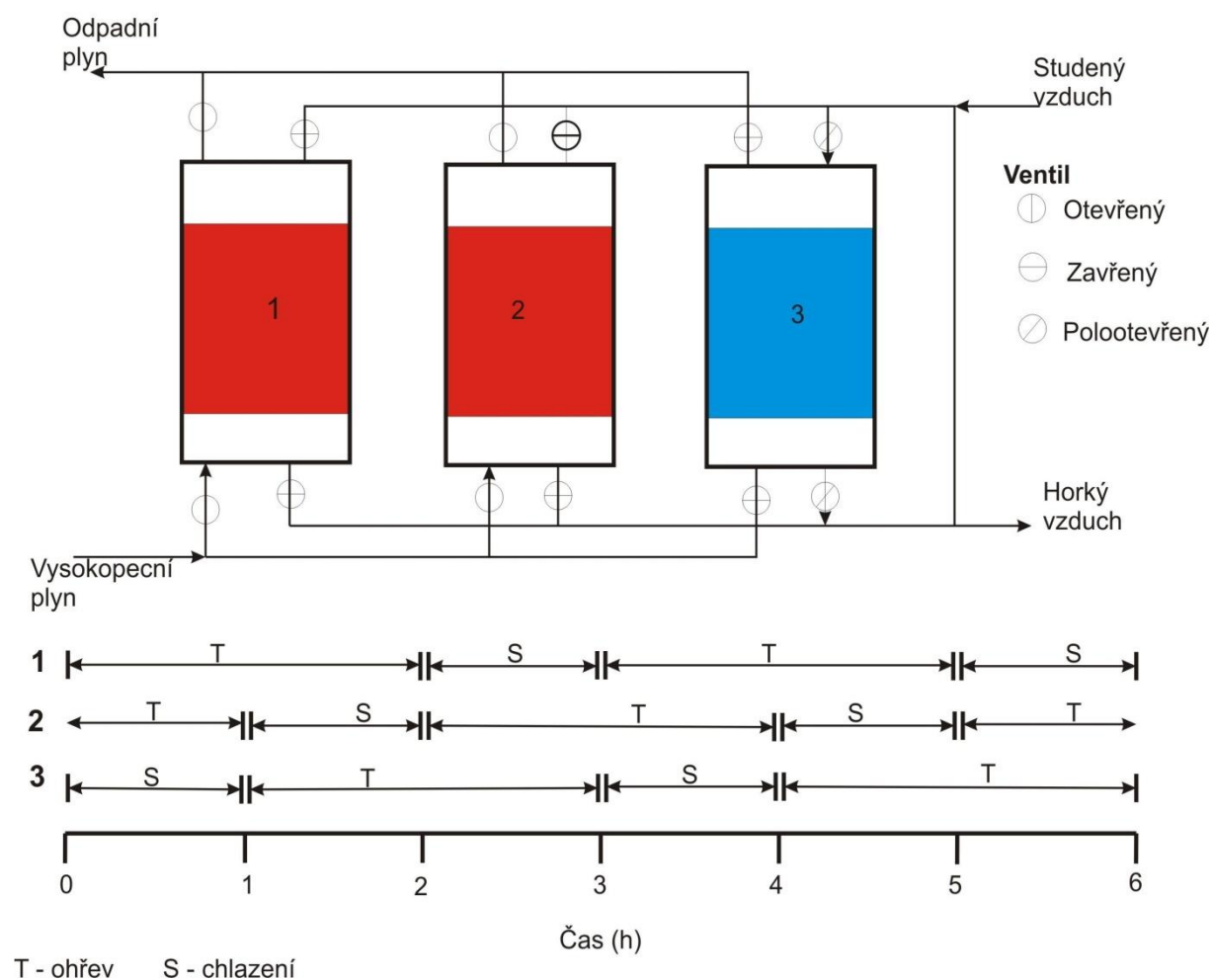
automatickou regulaci. Automatická regulace ohřevu větru může řídit teplotu horkého větru, změnou množství přídavného větru nebo poměrnou změnou množství dmýchaného větru při současném průchodu dvěma ohřivači, jejichž míra ochlazení je fázově posunuta.

Ohřev větru i vytápění mohou být řízeny třemi rozdílnými způsoby:

1. Běžným způsobem
2. Paralelním způsobem
3. Sdruženě – paralelním způsobem

4.2.1 Běžný způsob

Vítr se ohřívá průchodem jedním ohřivačem, zbývající ohřivače jsou vytápěny. Ohřev větru běžným způsobem včetně časového schématu přerazování ohřevu a chlazení je zobrazen na Obr. 3.



Obr. 3 Schéma ohřevu větru běžným způsobem

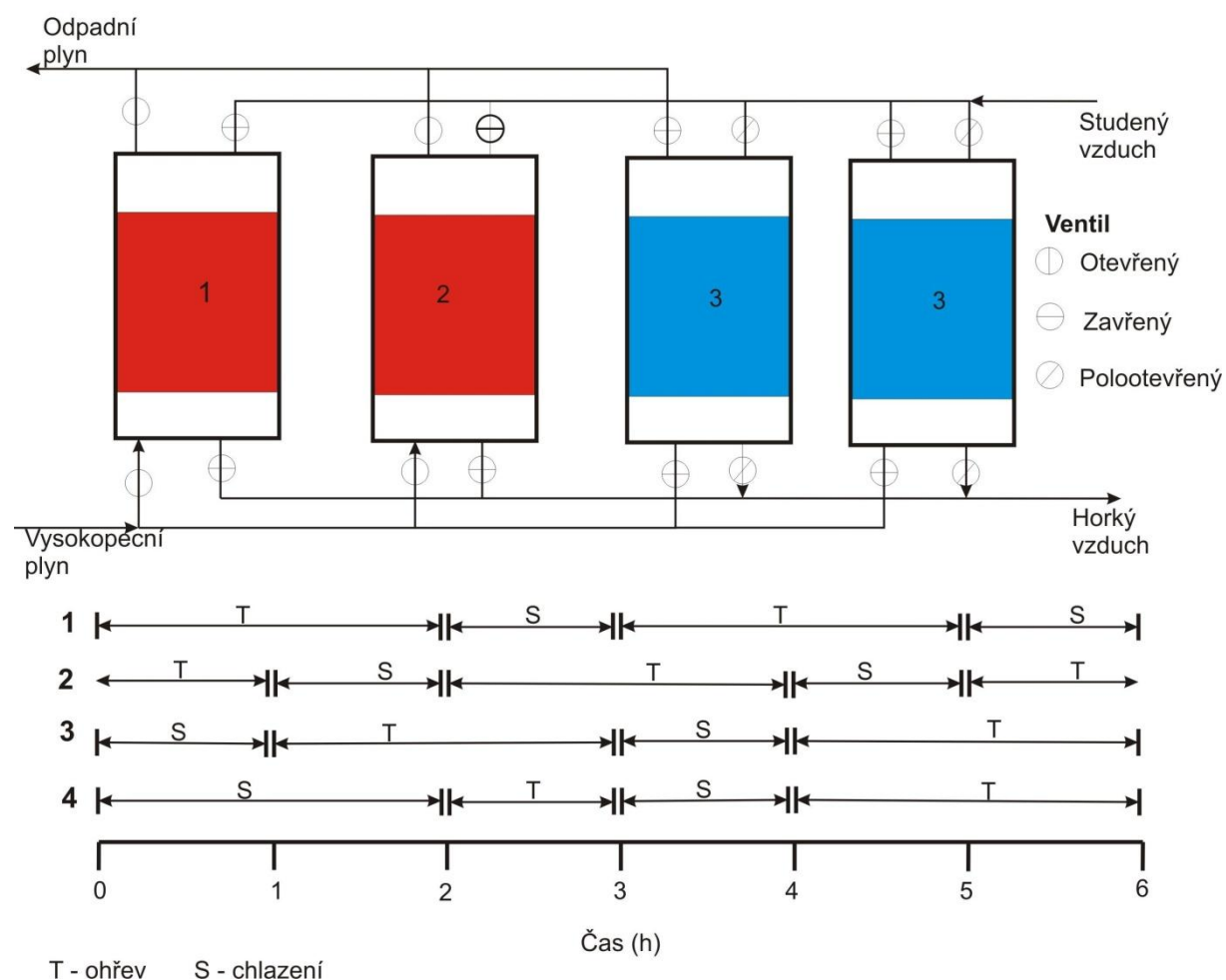
4.2.2 Paralelní způsob

Vítr se ohřívá současně ve dvou ohřivačích, zbývající dva jsou vytápěny. Teplota horkého větru je regulována na předvolené konstantní hodnotě proměnným množstvím přídatného větru. Schéma ohřevu větru je zobrazeno na Obr. 4.

Výhody:

Ve srovnání s běžným způsobem umožňuje paralelní ohřev při stejné teplotě dmýchaného větru prodloužení reverzační doby na dvojnásobek nebo při stejné reverzační době a větším počtu reverzací zvýšení teploty větru.

Při srovnání se sdruženě – paralelním ohřevem větru dosáhne paralelní ohřev stejné teploty při polovičním poklesu teplot vyzdívky ohřivače.



Obr. 4 Schéma ohřevu větru paralelním způsobem

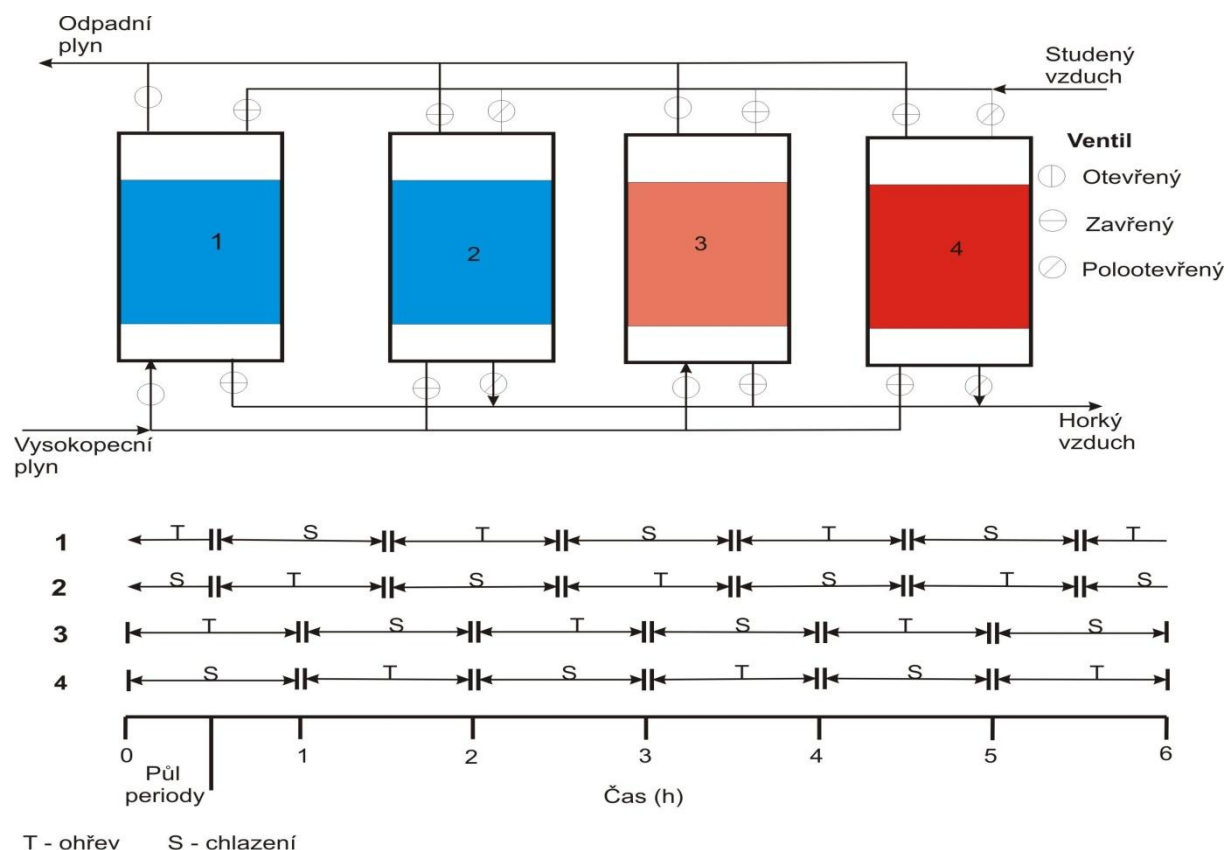
4.2.3 Sdruženě – paralelní způsob

Při tomto způsobu se vítr ohřívá současně ve dvou ohříváčích, jejichž míra ochlazení je vzájemně o polovinu cyklu posunuta. Množství větru, procházející oběma ohříváči, se reguluje regulačními klapami v potrubí studeného větru tak, aby teplota výsledného větru po smísení odpovídala požadované teplotě horkého větru. Schéma fungování sdruženě – paralelního způsobu včetně plánu přerazování ohřevu a chlazení je vidět na Obr. 5.

Výhody:

Umožňuje zvýšit teplotu horkého větru až do teplot blízkých se teplotě kopule. Ve srovnání s běžným ohřevem umožňuje při dvojnásobném prodloužení reverzačního cyklu a při stejném poklesu teploty v kopuli zvýšení teploty horkého větru o polovinu poklesu teploty.

Ve srovnání s paralelním ohřevem větru dosahuje zvýšené teploty horkého větru větším poklesem teploty v kopuli. [1, 7]



Obr. 5 Schéma ohřevu větru sdruženě-paralelním způsobem

4.3 Optimalizace ohřivačů větru

Systémy řízení musí zajistit provoz baterie ohřivačů větru tak, aby probíhal v předem určených podmínkách s maximální možnou účinností při splnění všech požadavků provozu vysoké pece na ohřev větru. Zároveň je nutné zajistit maximální množství plynu pro jejich dodatečné vytopení.

Požadovanou dobu ohřevu větru optimalizuje hlavní regulační obvod. Rozdíl mezi skutečnou a požadovanou dobou ohřevu větru je vyhodnocen systémem, který ovládá příkon vytápění u jednotlivých ohřivačů větru.

V průběhu topení ohřivače větru je minimalizována spotřeba koksového plynu. Minimalizace je prováděna v závislosti na požadované teplotě spalin v kopuli. V průběhu řízení je dále prováděna tepelná bilance ohřivačů i celé baterie, upravována žádaná doba ohřevu větru a navržený model je přizpůsobován skutečnému provoznímu stavu.

Ekonomické aspekty ohřevu větru mohou být u různých podniků odlišné. Jsou ovlivněny nejen cenou paliv, ale i okamžitými možnostmi hutě v daném okamžiku. [1]

5 Laboratorní model řízení ohříváčů větru

Navržený model by měl být válec o výšce 500 mm. Optimální výška byla stanovena na základě rozvržení všech vnitřních částí modelu. Jako nejvhodnější řešení se ukázalo použití lepenkového válce a to hlavně z důvodu snadné opracovatelnosti a přenositelnosti. Dále byly použity dva větráky. Spodní větrák slouží k přivádění studeného vzduchu do válce, vrchní větrák slouží k odvodu ohřátého vzduchu z válce. Nad spodním větrákem je umístěno kulaté topné tělísko zhotovené z mědi, které zajišťuje ohřev vzduchu, jenž je následně foukán do prostoru s kuličkami. Následuje mřížka z kovu, na které jsou volně položeny sádrové kuličky. Vnitřní prostor lepenkové trubky je polepen hliníkovou lepicí páskou z důvodu zamezení tepelných ztrát a lepšího vedení tepla uvnitř.

Při výrobě modelu bylo použito:

- Lepenková trubka (500x126 mm)
- 2 ks větráků 6.5 V (70x25 mm)
- Měděný drát
- 2 ks kovových mřížek
- Sádrové kuličky
- Hliníková lepicí páska
- 8x šroubek
- Barva ve spreji, lepidlo

Použité pracovní nářadí:

- Vrtačka, vrták (4 mm)
- Nůž, pilka, brusný papír, šuplera
- Bruska, pájka

5.1 Pracovní postup

Nejprve bylo nutné z přibližně 2000 mm dlouhé lepenkové trubky pilkou odříznout kus o délce 500 mm. Následně byly oba okraje trubky začištěny brusným papírem a celý vnitřní prostor byl polepen hliníkovou lepicí páskou. Ve spodní části modelu byly vyřezány otvory. Díky těmto otvorům bylo docíleno přísunu potřebného množství vzduchu do trubky.

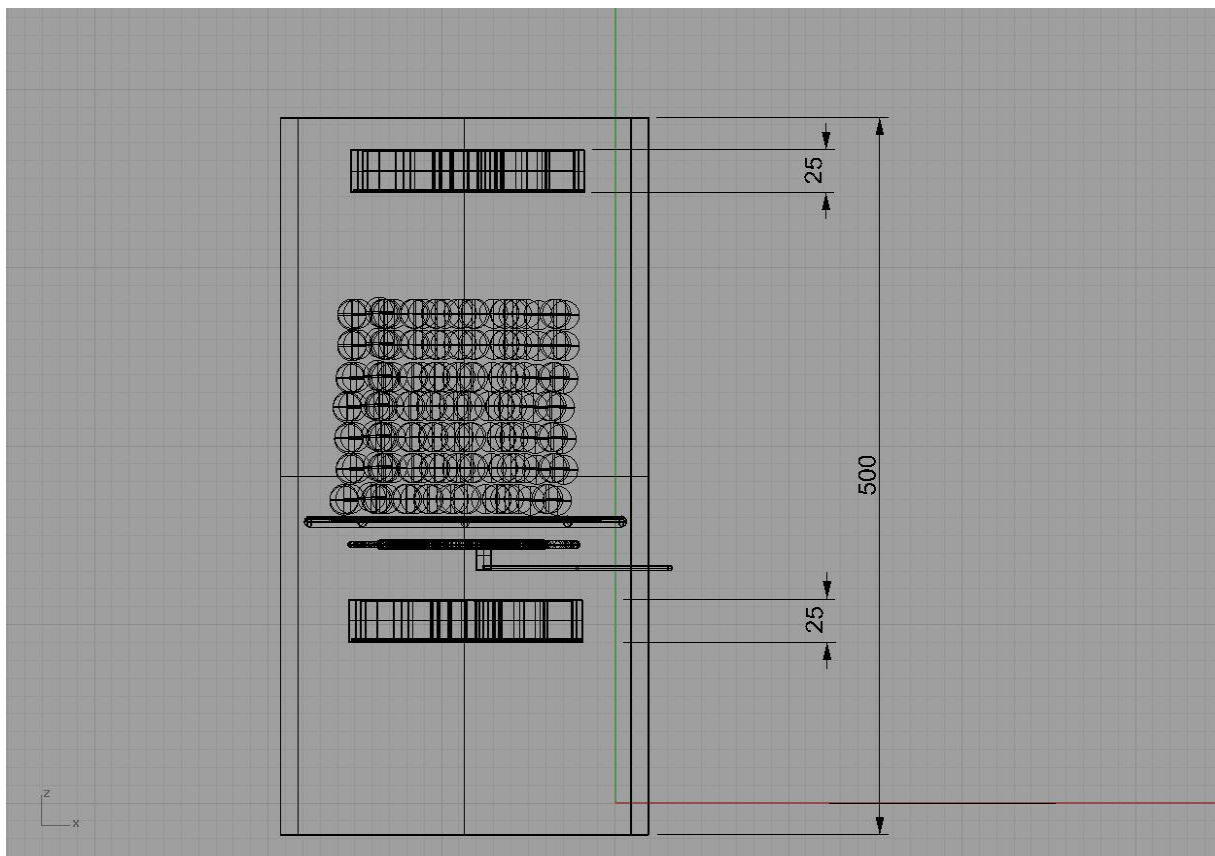
Na trubku bylo poté nutno zakreslit veškeré značky pro umístění vnitřní konstrukce a zaznačit body pro navrtání celkem 17 otvorů k uchycení větráků, mřížek, topného tělíska a dále pro vyvedení kabeláže od větráku a topného tělíska ven. K vyvrtání otvorů byl použit vrták o průměru 4 mm.

Dále bylo nutno vyřešit uchycení větráků uvnitř trubky. K tomuto účelu skvěle posloužily kovové mřížky. Nejprve bylo nutno větráky opracovat bruskou, protože díky svému čtvercovému tvaru nezapadly do prostoru trubky. Poté byly okraje mřížky s oky sloužící pro přichycení mřížky ohnuty nahoru. Stejná úprava byla použita i u mřížky držící sádrové kuličky. Díky této úpravě se dala mřížka později pohodlně připevnit pomocí šroubků do vnitřního prostoru trubky. Po začištění ventilátorů byly upravené mřížky přilepeny k ventilátorům pomocí silikonového lepidla.

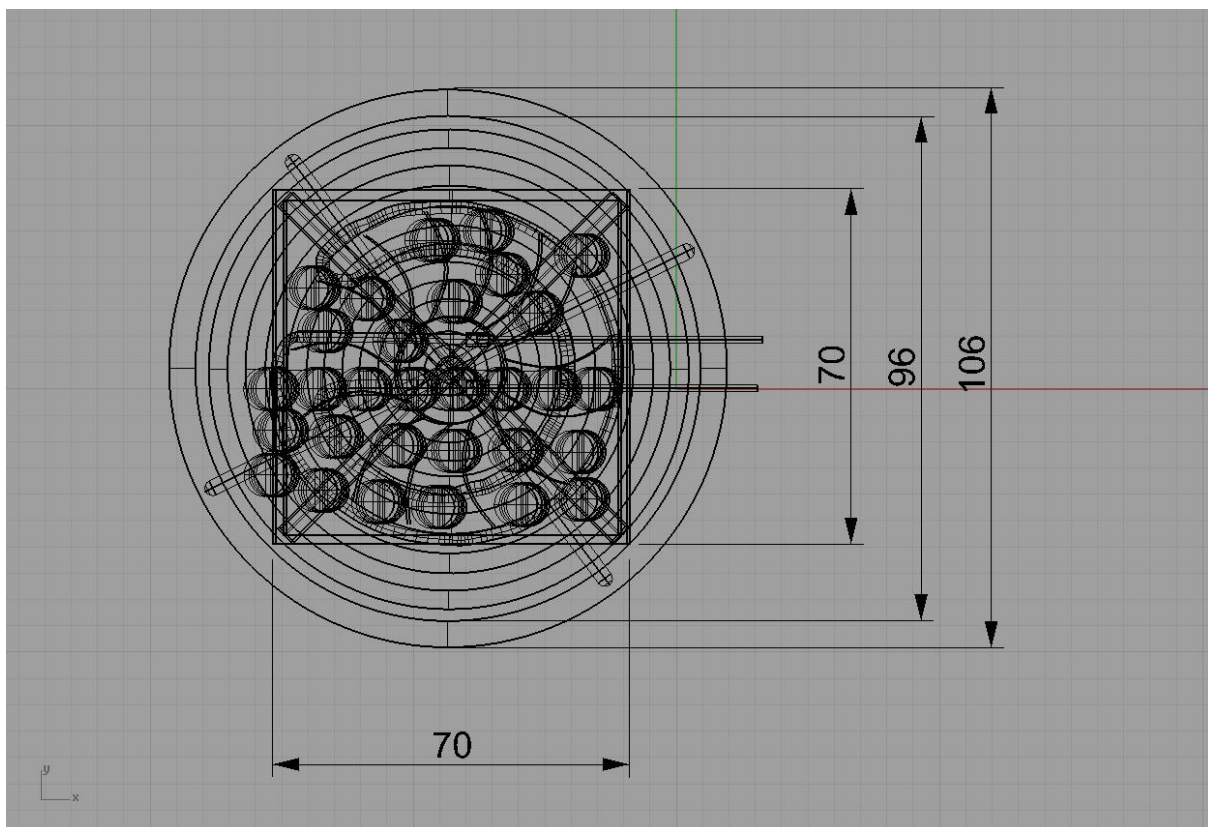
Topné tělísko sloužící k ohřevu vzduchu bylo vyrobeno z měděného drátu, který byl namotán do spirály a pomocí pájecí pistole k němu byly připájeny 2 ks vodičích drátů.

Po vyvrtání všech otvorů do modelu a jejich začištění byl model složen přidáváním předem připravených částí. Nejdříve byla připevněna mřížka držící kuličky, poté topné tělísko, které je připevněno pouze pomocí vodičích kabelů vyvedených z vnitřního prostoru válce. Jako další následovala montáž spodního ventilátoru. Poté byl model naplněn kuličkami a jako poslední byl připevněn vrchní ventilátor. Po montáži všech dílů byl model nastříkán stříbrnou barvou.

Návrh modelu byl realizován v grafickém programu Rhinoceros 4.0. Na Obr. 6 a Obr. 7 je vidět samotný návrh modelu z jednotlivých pohledů. Na Obr. 8 je potom model v celkové vizualizaci. Fotografie modelu na Obr. 9 a Obr. 10.



Obr. 6 Návrh modelu při pohledu z boku (údaje v mm)



Obr. 7 Návrh modelu pro pohledu shora (údaje v mm)



Obr. 8 Celková vizualizace modelu



Obr. 9 Celkový pohled na model



Obr. 10 Pohled na model shora

5.2 Provádění simulace a měření

Při simulaci bylo použito těchto pomůcek a přístrojů:

- Zdroj napětí: Diametral – evidenční číslo 785/654,
- orientační digitální měřidlo: Multimetr UT-33D,
- univerzální měřicí přístroj: Almemo 2290-8,
- vodiče,
- stopky.

5.2.1 Příprava a provádění simulace

Ventilátory byly připojeny ke zdroji napětí jehož hodnota byla nastavena na 10V.

Do jedné kuličky byl vyvrtán otvor, do kterého byl vsazen termistor. Následně byla kulička připojena k Multimetru UT-33D a vsazena mezi ostatní kuličky. Topná spirála byla připojena ke zdroji, jeho výkon byl nastaven na 40W. Teplota uvnitř válce byla měřena pomocí univerzálního měřicího přístroje Almemo 2290-8.

Postup bude popsán na jednom z prováděných měření. Počet měření byl stanoven na dvě. První měření bude probíhat při zapnutém topení. Při druhém měření bude topení vypnuto.

5.2.2 Průběh měření

Přidáváním napětí na zdroji se rozběhl ventilátor, kdy při 10V bylo dosaženo optimální rychlosti foukaného vzduchu do prostoru válce. Poté bylo připojeno topné tělísko. Postupným zvyšováním teploty uvnitř válce dochází ke zvyšování teploty uvnitř válce i teploty kuliček. Tímto způsobem se postupovalo až do doby, než se hodnoty teploty ustálily. Poté následovalo opačné měření, kdy bylo topné tělísko odpojeno a měření probíhalo znovu do doby, než se hodnoty ustálily. Údaje o času, teplotě a odporu byly zapisovány do tabulky **Čas / Výstupní teplota / Teplota kuliček / Teplota v kuličce** v intervalu 0.5 s. Ustálený stav pro výstupní teplotu byl stanoven na 34,8 °C, kdy tato teplota se již po 23 minutě dále nezvyšovala.

5.2.3 První simulace při zapnutém ohřevu

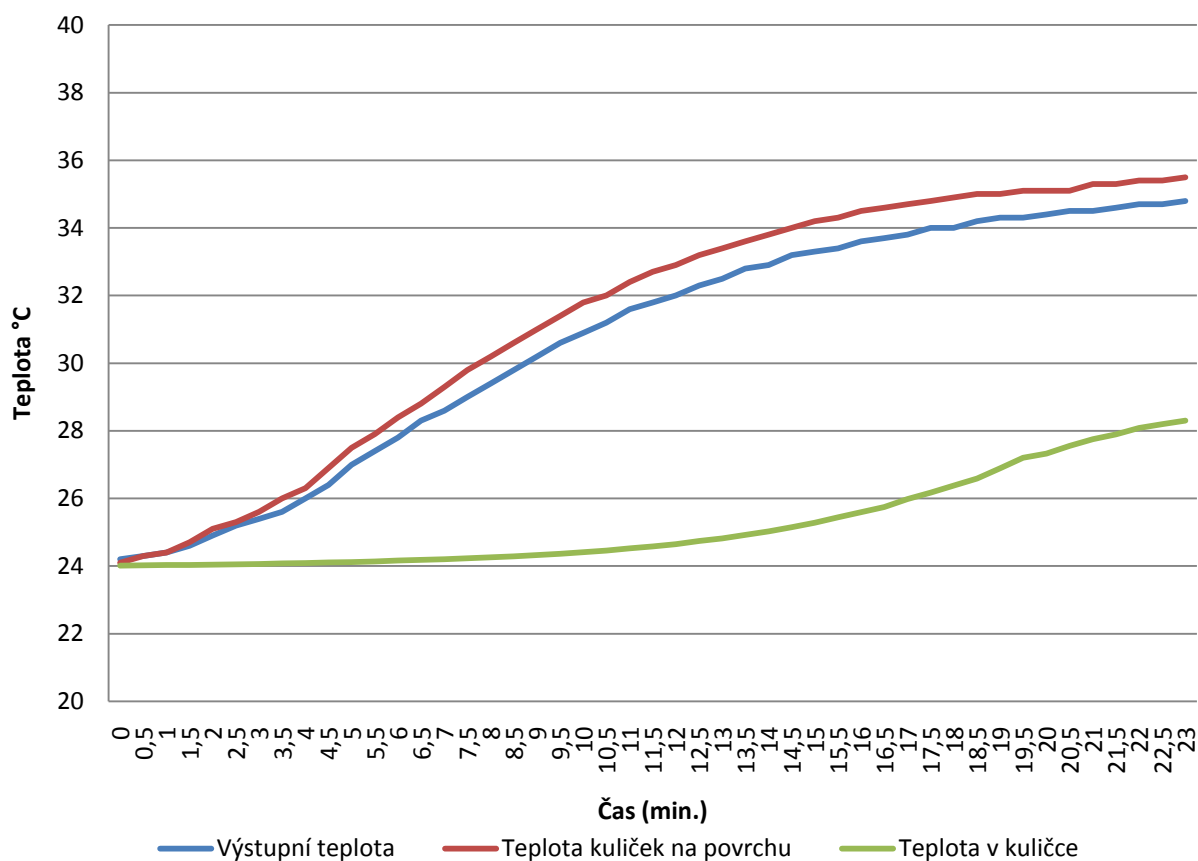
Údaje z měření naleznete v Tab. 1 a Obr. 11 znázorňuje graf průběhu.

Tab. 1 Naměřené výstupní údaje

Čas (min)	Výstupní teplota (°C)	Teplota kuliček na povrchu (°C)	Teplota v kuličce (°C)
0	24,2	24,1	24,01
0,5	24,3	24,3	24,02
1	24,4	24,4	24,03
1,5	24,6	24,7	24,03
2	24,9	25,1	24,04
2,5	25,2	25,3	24,05
3	25,4	25,6	24,06
3,5	25,6	26	24,08
4	26	26,3	24,09
4,5	26,4	26,9	24,11
5	27	27,5	24,12
5,5	27,4	27,9	24,14
6	27,8	28,4	24,16
6,5	28,3	28,8	24,18
7	28,6	29,3	24,2
7,5	29	29,8	24,23
8	29,4	30,2	24,26
8,5	29,8	30,6	24,29
9	30,2	31	24,33
9,5	30,6	31,4	24,36
10	30,9	31,8	24,41
10,5	31,2	32	24,46
11	31,6	32,4	24,52
11,5	31,8	32,7	24,58
12	32	32,9	24,65
12,5	32,3	33,2	24,74
13	32,5	33,4	24,82
13,5	32,8	33,6	24,92
14	32,9	33,8	25,03
14,5	33,2	34	25,15
15	33,3	34,2	25,28
15,5	33,4	34,3	25,44
16	33,6	34,5	25,59
16,5	33,7	34,6	25,75
17	33,8	34,7	25,98
17,5	34	34,8	26,17

18	34	34,9	26,38
18,5	34,2	35	26,59
19	34,3	35	26,89
19,5	34,3	35,1	27,2
20	34,4	35,1	27,33
20,5	34,5	35,1	27,55
21	34,5	35,3	27,75
21,5	34,6	35,3	27,89
22	34,7	35,4	28,08
22,5	34,7	35,4	28,2
23	34,8	35,5	28,3

Charakteristika výstupu při zapnutém ohřevu



Obr. 11 Graf výstupu při zapnutém ohřevu

5.2.4 Druhá simulace při vypnutí ohřevu

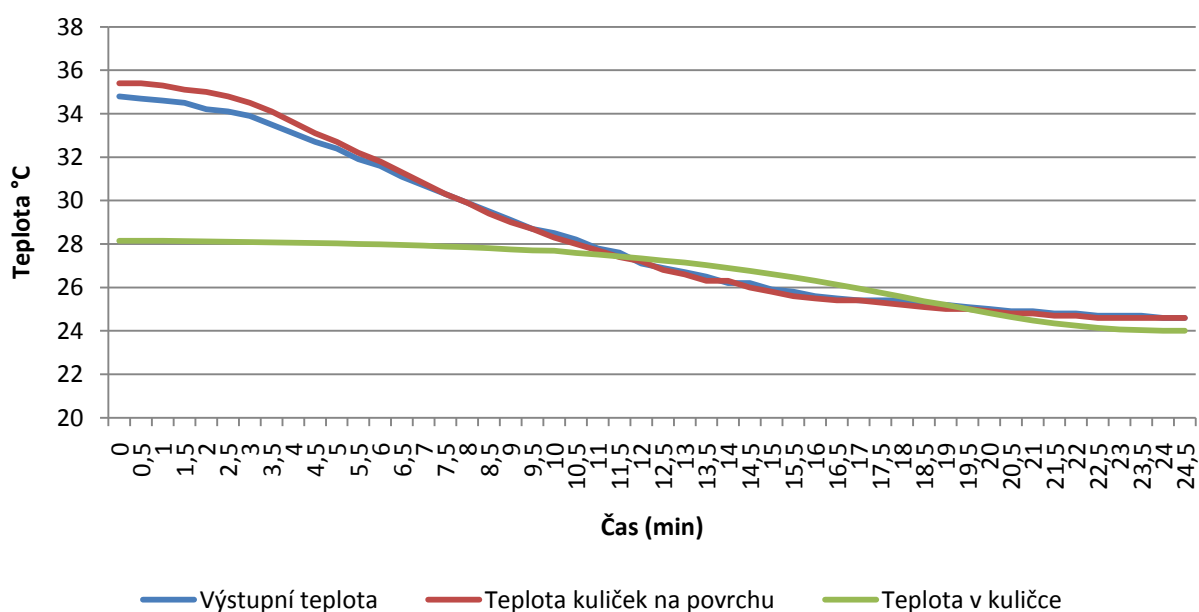
Při tomto měření bylo topné tělísko vypnuto, ventilátory stále běžely. Údaje z měření naleznete v Tab. 2 a Obr. 12 znázorňuje graf průběhu.

Tab. 2 Naměřené výstupní údaje

Čas (min)	Výstupní teplota (°C)	Teplota kuliček na povrchu (°C)	Teplota v kuličce (°C)
0	34,8	35,4	28,15
0,5	34,7	35,4	28,15
1	34,6	35,3	28,14
1,5	34,5	35,1	28,13
2	34,2	35	28,12
2,5	34,1	34,8	28,11
3	33,9	34,5	28,09
3,5	33,5	34,1	28,08
4	33,1	33,6	28,06
4,5	32,7	33,1	28,05
5	32,4	32,7	28,03
5,5	31,9	32,2	28
6	31,6	31,8	27,98
6,5	31,1	31,3	27,95
7	30,7	30,8	27,92
7,5	30,3	30,3	27,88
8	29,9	29,9	27,85
8,5	29,5	29,4	27,81
9	29,1	29	27,75
9,5	28,7	28,7	27,71
10	28,5	28,3	27,69
10,5	28,2	28	27,58
11	27,8	27,7	27,51
11,5	27,6	27,4	27,43
12	27,1	27,2	27,34
12,5	26,9	26,8	27,24
13	26,7	26,6	27,14
13,5	26,5	26,3	27,02
14	26,2	26,3	26,9
14,5	26,2	26	26,76
15	25,9	25,8	26,62
15,5	25,8	25,6	26,46
16	25,6	25,5	26,3
16,5	25,5	25,4	26,13

17	25,4	25,4	25,95
17,5	25,4	25,3	25,76
18	25,4	25,2	25,56
18,5	25,2	25,1	25,36
19	25,2	25	25,2
19,5	25,1	25	25
20	25	24,9	24,82
20,5	24,9	24,8	24,64
21	24,9	24,8	24,47
21,5	24,8	24,7	24,34
22	24,8	24,7	24,24
22,5	24,7	24,6	24,14
23	24,7	24,6	24,07
23,5	24,7	24,6	24,03
24	24,6	24,6	24,01
24,5	24,6	24,6	24,01

Charakteristika výstupu při vypnutém ohřevu



Obr. 12 Graf výstupu při vypnutém ohřevu

6 Návrh řízení modelu

Model je možno řídit buďto manuálně a to obsluhou, nebo za pomoci přístrojů.

6.1 Manuální řízení

U tohoto způsobu je model řízen obsluhou, která provádí manuálně všechny činnosti. Jedná se o:

- zrakem odečítá hodnoty teplot kuliček uvnitř válce z měřicího přístroje,
- rukou na zdroji reguluje výkon dodávaný do topného tělíska a tím reguluje teplotu,
- při dosažení maximální požadované teploty vzduchu uvnitř modelu, obsluha manuálně vypojí topné tělísko a tím zahájí fázi ochlazování kuliček,
- korigováním napětí na zdroji, ke kterému jsou připojeny větráky, je možno je korigovat průchod vzduchu válcem a tím i rychlost ochlazování či ohřívání

6.2 Řízení pomocí přístrojů

Pro přístrojové měření může být použito regulátorů, snímačů, programovatelného logického počítače (PLC), kabeláže.

- PLC (Programmable logic controller) je digitální elektronické zařízení, které využívá programovatelnou paměť pro ukládání instrukcí a implementaci funkcí, pomocí nichž je schopno ovládat a kontrolovat různé typy zařízení či různé procesy.
- Snímače slouží pro snímání teploty ve válci.
- Regulátory sloužící k regulování výkonu topného tělíska a ventilátorů

6.2.1 Použití přístrojů při řízení modelu

Do modelu je zabudován snímač teploty, jehož údaj je přenášen do PLC. Ten signály vyhodnotí a pošle signál do zdroje ke snížení či zvýšení výkonu topného tělíska. V případě dosažení maximální teploty vzduchu uvnitř válce je topné tělísko vypnuto.

Pomocí regulátorů je možno regulovat napětí dodávané do větráku a tím rychlost jejich otáčení. To je důležité zejména při vypnutém topení, kdy je ovládáním horního větráku možno ovlivňovat rychlost ochlazování kuliček.

7 Model řízení ohřivačů větru

Na základě výsledků předcházejících měření je možno sestavit vývojový diagram řízení ohřivačů větru a znázornit jejich přecházení z fáze ohřevu na fázi ochlazování a opačně. U modelu se předpokládá, že minimální teplota ohřátého vzduchu na výstupu z ohřivače větru pro model vysoké pece bude 30 °C. Maximální teplota, kterou může ohřivač dosáhnout byla tedy stanovena na 35 °C a minimální na 30 °C. Na Obr. 13 je potom vidět postupný nájezd ohřivačů, kdy je nejprve nutné všechny ohřivače dostat na provozní teplotu a až po této době se ohřivače přepnou na běžný režim.

Na Obr. 14 je znázorněn model řízení ohřivačů větru v běžném režimu pomocí vývojového diagramu. Počítá se třemi navzájem propojenými ohřivači. V modelu uvažujeme se stejným počátečním ohřátím všech ohřivačů. V případě, že by tomu tak nebylo a bral bych v potaz nerovnoměrné ohřátí v prostoru ohřivačů, tak by byl vývojový diagram mnohem složitější.

Popis vývojového diagramu

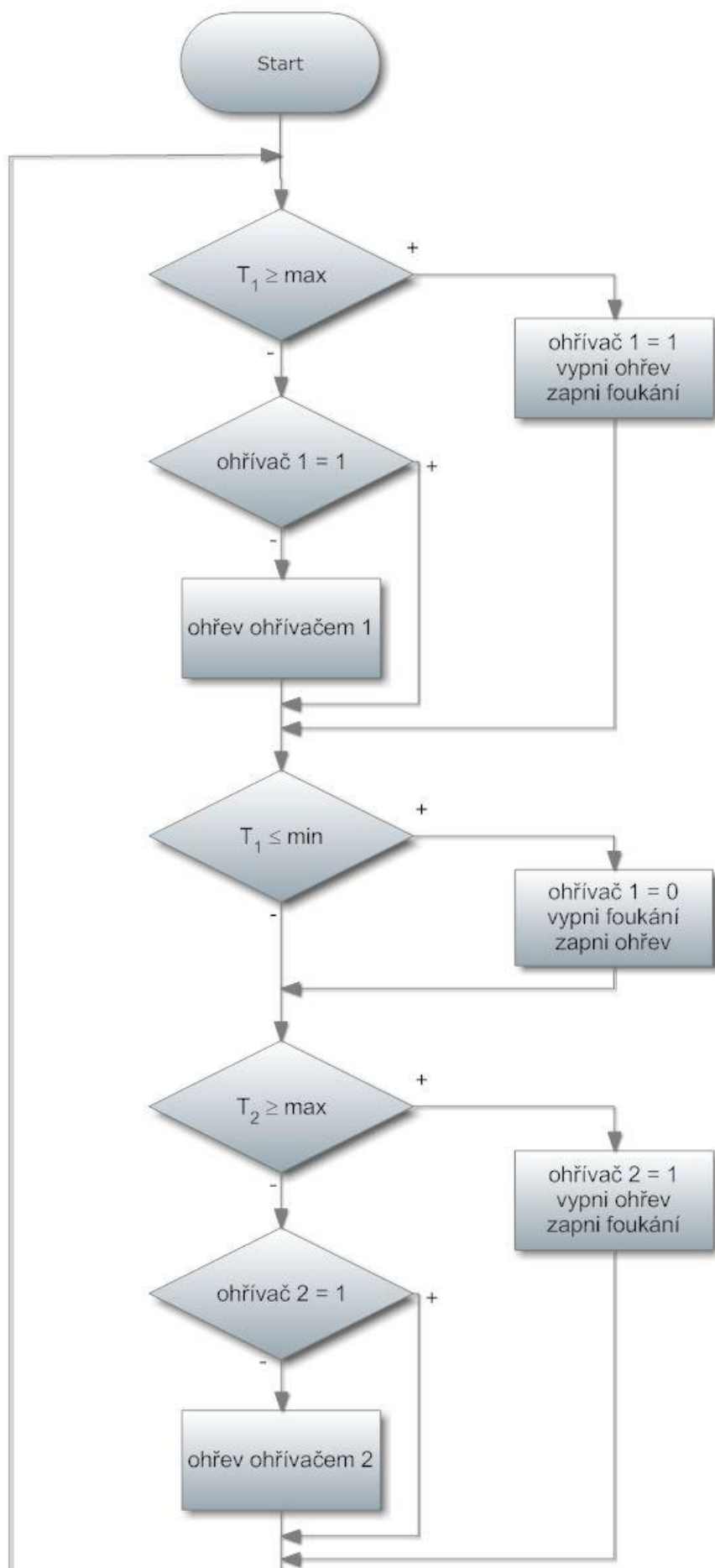
První ohřivač je ohříván na přednastavenou maximální teplotu. V případě, že této teploty dosáhne je ohřev vypnut a je zapnuto foukání až do doby, kdy ohřivač dosáhne přednastavené minimální teploty, kdy je zapnut ohřev. Když maximální teploty nedosáhne je opět zapnut ohřev až do doby dosažení požadované teploty. Teplota vzduchu je kontrolována v každém časovém okamžiku.

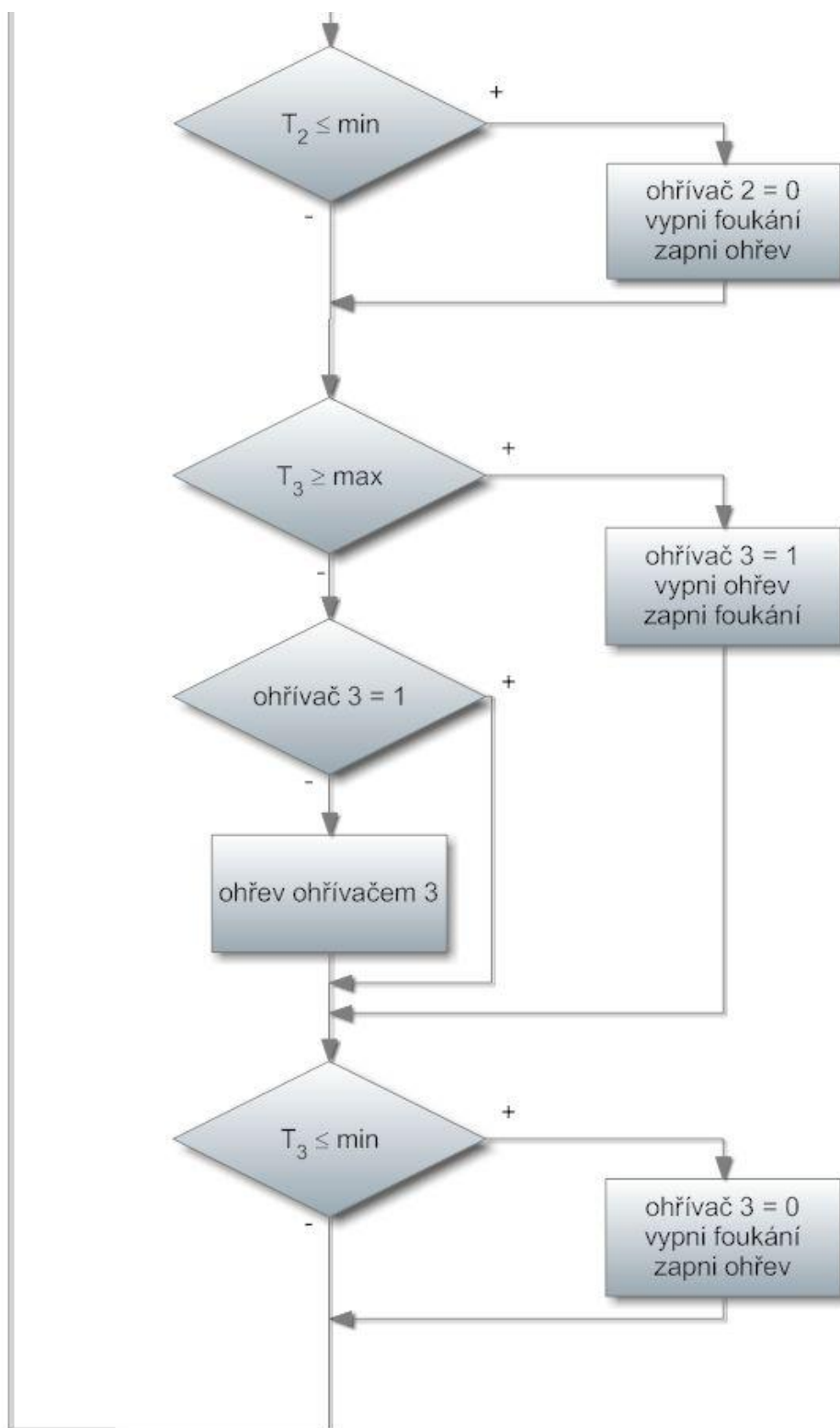




Obr. 13 Vývojový diagram znázorňující nájezd ohřívačů

Po fázi nájezdu, po kterém jsou všechny ohřívače v provozu následuje běžný režim, který je opět pomocí vývojového diagramu znázorněn na Obr. 14.





Obr. 14 Vývojový diagram řízení ohřivačů větru

7.1 Možnosti modelu

Navržený pedagogický model ohřívače větru poskytuje široké možnosti využití při výuce studentů. Studenti si na modelu mohou vyzkoušet:

- Stanovení statické charakteristiky ohřevu při změně výkonu topného tělíska.
- Stanovení dynamické charakteristiky ohřevu resp. sfoukávání při vypnutém jednom ventilátoru.
- Stanovení dynamické charakteristiky ohřevu resp. sfoukávání při vypnutých ventilátorech.
- Jak bude probíhat změna teploty při mísení s chladným vzduchem.
- Jaký bude teplotní vývoj, když bude pedagogický model opatřen kopulí s propustí, která bude předcházet hromadění tlaku pod kopulí.
- Model řízení při předpokladu 100% spolehlivosti všech ohřívačů větru.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce byla tvorba zjednodušeného pedagogického modelu ohřívače větru, popis jeho řízení dále naměření údajů při prováděných simulacích, jejich vyhodnocení a návrh řízení modelu.

Model byl vyroben a byly na něm provedeny dvě simulace provozu – se zapnutým a s vypnutým topením.

První simulace probíhala se zapnutým topením a ventilátory, kdy se vnitřní prostor válce zahříval, dokud se teploty uvnitř neustálily. K ustálení došlo po 23 minutách, kdy se teplota již dále nezvyšovala. Po 2 dvou minutách byla ještě provedena kontrola teplot, když ani po této době nedošlo ke změně teplot, bylo měření ukončeno. Stejným způsobem bylo postupováno i opačně tzn., tentokrát při vypnutém topení, ale se zapnutými ventilátory byla měřena míra ochlazování kuliček a vnitřního prostoru válce, dokud nedošlo k ustálení teplot. Měření byla vyhodnocena a podle těchto vyhodnocení byl vyvozen závěr.

Na základě měření byly vytvořeny charakteristiky závislosti teplot na čase. Soustava má charakter proporcionální soustavy druhého řádu, kdy po pozvolnějším náběhu následuje rychlý růst teplot až do doby ustálení. To samé platí i opačně. Podle výsledků měření byl následně vytvořen model řízení ohřívačů větru pomocí vývojového diagramu.

Vytvořený pedagogický model poskytuje mnoho možností pro další zkoumání a simulace provozu. Kromě toho lze také studovat možnosti použití výpočetní techniky k přímému řízení modelu. To z něj dělá ideální prostředek pro využití při výuce studentů, díky němuž lze zvýšit úroveň pedagogického procesu.

9 Použitá literatura

- [1] TOMIS, L., HANÁK, V., OCHOZKA, J. *Automatizované systémy řízení technologických procesů v hutnictví*. Ostrava: VŠB-TUO, 1984
- [2] BROŽ, L. a kol. *Hutnictví železa*. Praha: SNTL/ALFA, 1988
- [3] DUŘT, Z., OLEHLA, M., NOVÁK, V. *Simulace systémů*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1987
- [4] GOTTWALD, M., HAŠEK, P., OBROUČKA, K. Ohřivače větru pracující s vysokou teplotou předehtí. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě*. Řada hutnická. 1966, roč. 12, č. 8, s. 961-986 : il.
- [5] GOTTWALD, M., MOLÍNEK, J., JUREČKA, P. Vysokoteplotní ohřivače větru. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě*. Řada hutnická. 1974, roč. 20, č. 1, s. 29-40 : il.
- [6] *Vysoké pece* [online]. Posl. úpravy 17.5.2005 [cit. 2010-05-15]. Dostupné na WWW: < <http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/vyspec/vyspec.htm> >.
- [7] SHAH, R. K., SEKULIĆ, D. P. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003
- [8] *Hot-blast stove*. [online]. Encyclopædia Britannica. Posl. úpravy 25.8.2010 [cit. 2010-05-15]. Dostupné na WWW: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/272720/hot-blast-stove>>
- [9] *Blast furnace and stoves for the heat treatment industry* [online]. Posl. úpravy 31.8.2010 [cit. 2010-08-15]. Dostupné na WWW: <http://www.eurotherm-heattreatment.com/products/solutions/metals/blast-furnace-and-stoves/>
- [10] TOMIS, L., ŠTEFAN, J. Pedagogický model činnosti a automatizace ohřivače větrů. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě*. Řada hutnická. 1968, roč. 14, č. 2, s. 193-206 : il.